

Análise de Protocolos de Roteamento em MANETs como Apoio a Pervasividade em Ambientes Ubíquos

Ricardo de Oliveira Schmidt, Marco Antônio Sandini Trentin

Curso de Ciência da Computação, Universidade de Passo Fundo
Passo Fundo, RS, Brasil
{60273, trentin}@upf.br

Abstract

The scenarios of Ubiquitous Computing are becoming reality in the last years. The evolution in the technologies of wireless networks is making possible the existence of these ubiquitous scenarios. Mobile ad hoc networks (MANETs) are one of the main evolutions in networks area. These networks make possible the creation of communication structures in environments, until the moment, considered impossible. This way, the objective of this work was to evaluate two MANETs routing protocols in a scenario with high mobility: DYMO and OLSR. It also presents the methodology proposed to make the simulations used in the performance evaluation of the protocols. The simulations results are presented through performance lines that make possible constructing the conclusions about the behavior of the evaluated protocols.

Keywords: pervasive environments, routing, ad hoc networks, network simulations.

Resumo

Os cenários de Computação Ubíqua estão se tornando realidade nos últimos anos. A evolução das tecnologias em redes de computadores sem fio tem possibilitado a existência de tais cenários ubíquos. Dentre as principais evoluções em redes estão as redes móveis *ad hoc* (MANETs), por propiciarem a criação de estruturas de comunicação em ambientes até então impraticáveis. Diante disso, este trabalho teve por objetivo analisar dois protocolos de roteamento para MANETs em um ambiente com alto grau de mobilidade: DYMO e OLSR. É também apresentada a metodologia proposta para a realização das simulações utilizadas na avaliação do desempenho dos protocolos. Os resultados das simulações são apresentados através de curvas de desempenho que possibilitaram a formulação das conclusões sobre o comportamento dos protocolos avaliados.

Palavras-chave: ambientes pervasivos, roteamento, redes *ad hoc*, simulações de redes.

1 INTRODUÇÃO

No início da década de 90 Mark Weiser formulou o conceito de Computação Ubíqua. Segundo Weiser, a primeira era da computação foi relacionada aos mainframes onde vários usuários estavam conectados a uma única estação de trabalho. A segunda era da computação iniciou com a popularização dos computadores e o surgimento dos computadores pessoais (PC – *Personal Computers*). Hoje estamos em uma fase de transição entre a segunda era da computação e a Computação Ubíqua, tida como terceira grande era da computação [7]. O conceito básico da Computação Ubíqua é de que vários dispositivos, comunicantes entre si, estejam conectados a um

único usuário fornecendo diversos serviços computacionais. O tamanho dos dispositivos computacionais cada vez mais reduzido e suas capacidades de processamento e armazenamento cada vez maiores são evoluções atuais que possibilitarão a criação de ambientes ubíquos. Outro fator que contribui muito com a concretização da Computação Ubíqua é a evolução das tecnologias de comunicação das redes de computadores.

As redes de computadores são essenciais na criação de um ambiente ubíquo. Como todos os dispositivos do ambiente necessitam trocar informações para trabalhar de forma autônoma, a conectividade é um fator crucial na Computação Ubíqua. A conectividade é a garantia do funcionamento do ambiente ubíquo desde a troca de informações entre os dispositivos até o reconhecimento de um novo dispositivo integrante na rede de comunicação. Um alto grau de pervasividade¹ é requerido em ambientes ubíquos. Isso devido ao fato de que um ambiente ubíquo deve ser pensando como uma rede de comunicação com diversos dispositivos wireless e, muitas vezes, móveis.

Muitos cuidados devem ser tomados com relação à rede de comunicação devido à complexidade dos ambientes ubíquos. Isso porque a rede de comunicação pode ser local ou não, através de cabos ou wireless, mas sempre levando em consideração a pertinência da conexão. A rede deve trabalhar de forma autônoma onde cada novo dispositivo deve integrar-se a rede tornando pública a sua presença e aderindo as exigências da rede.

Como já mencionado, a utilização de tecnologias wireless em redes de computadores está crescendo. As estruturas sem fio possibilitam uma maior abrangência de aplicações para as redes de computadores. Cenários com características que dificultam ou até mesmo impossibilitam a implementação de redes estruturadas, podem ser facilmente resolvidos através da comunicação wireless. Mais especificamente, em cenários militares, a utilização de redes wireless é indispensável. Hoje em dia, o campo de batalha faz uso extensivo de comunicações sem fio. Em uma operação militar, a comunicação é fundamental uma vez que essa pode acarretar o sucesso ou fracasso da missão [5]. Sendo assim, essas estruturas devem apresentar uma boa conectividade e segurança na distribuição e entrega das informações.

As redes wireless são classificadas em duas categorias: redes wireless infra-estruturadas e redes wireless não infra-estruturadas. A saber, redes wireless infra-estruturadas correspondem às redes de comunicações que fornecem um grau de mobilidade aos seus usuários através de uma Estação de Suporte à Mobilidade (AP – *Access Point*) [1]. Essas redes são utilizadas quando já existe alguma outra estrutura de comunicação fixa e há a necessidade de prover mobilidade aos usuários, mesmo que essa mobilidade seja limitada à área de cobertura do AP. Por outro lado, as redes wireless não infra-estruturadas, também conhecidas por redes *ad hoc*, não necessitam uma conexão com uma outra estrutura para existir. As redes *ad hoc* são redes dinâmicas, algumas vezes temporárias, onde os nodos integrantes da rede de comunicação são responsáveis pelo gerenciamento e manutenção da mesma. Ou seja, uma rede *ad hoc* não possui um controle centralizado responsável pela manutenção da rede. Uma rede *ad hoc* é chamada de rede não infra-estruturada devido ao dinamismo em sua topologia [4]. Ainda com relação às redes *ad hoc*, essas podem ser móveis. As redes móveis *ad hoc* são apresentadas a seguir.

2 MANETs

Uma rede móvel *ad hoc* (MANET – *Mobile Ad hoc Network*) corresponde a uma rede *ad hoc* com nodos móveis. Ou seja, além de não possuir um controle centralizado, em uma MANET os nodos, que também são responsáveis por gerenciar a rede de comunicação, movimentam-se com diferentes sentidos e velocidades (ver Figura 1). Essas estruturas são bastante complexas, pois os nodos

¹ Computação pervasiva: responsável pela adaptação dinâmica de um dispositivo a um determinado ambiente.

móveis precisam gerenciar a rede de comunicação, ou seja, tornar-se comunicável aos outros integrantes da rede. Uma MANET compreende um sistema autônomo de comunicação entre dispositivos móveis, que opera isoladamente podendo possuir uma ligação com uma rede fixa [2].



Figura 1: Rede *ad hoc*.

Dentre as aplicações de uma MANET, pode-se citar a comunicação em um cenário de operação militar, onde os integrantes dessa operação necessitam comunicar-se diretamente com outro integrante independente da posição ou existência de um controle centralizado na rede de comunicação (ver Figura 2).

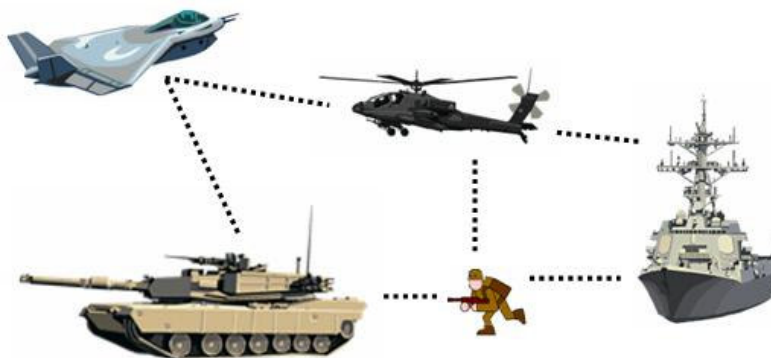


Figura 2: Cenário de comunicação militar.

Devido às suas complexas características e aplicações, as MANETs exigem eficientes protocolos de roteamento capazes de organizar e gerenciar dinamicamente a estrutura de comunicação. Dentre as principais características de uma MANET, vale-se [2]:

- Topologia dinâmica: os nodos integrantes do sistema são livres para se moverem arbitrariamente;
- Largura de banda: apesar dos notáveis avanços em tecnologias wireless, ainda é significativa a baixa capacidade de transmissão de dados. O real *throughput* de uma rede wireless é influenciado pelo efeito de múltiplos acessos, interferências, entre outros problemas encontrados durante uma transmissão;
- Operação com baixo consumo de energia: devido a uma MANET ser formada por dispositivos móveis, o consumo de energia deve ser controlado. Isso porque muitas vezes esses dispositivos móveis possuem fonte de energia não durável como, por exemplo, baterias;
- Segurança física limitada: uma rede wireless é muito mais sucessível a ataques do que uma rede fixa. Ataques como Negação de Serviço (*Denial of Service*) são mais comuns em redes sem fio.

2.1 Roteamento em MANETs

Roteamento, em redes de computadores, é a parte do software da camada de rede responsável pela decisão sobre a linha de saída a ser utilizada na transmissão do pacote de entrada [6]. Em uma

MANET, devido à ausência de um controle centralizado, há a necessidade de que os nodos integrantes da rede de comunicação também sejam capazes de realizar as tarefas de roteamento.

Um protocolo de roteamento, atuando nos nodos integrantes de uma rede móvel *ad hoc*, deve ser capaz de estabelecer dinamicamente rotas (de saltos) através da rede, bem como a adaptação dessas rotas, ou busca por novas, mesmo que esses nodos comunicantes se encontrem em movimento. Um método natural para tentar prover o roteamento em uma rede *ad hoc* é simplesmente tornar cada nodo um roteador e buscar um protocolo comum entre eles [3].

O design de um protocolo de roteamento para redes *ad hoc* ou, principalmente, para MANETs, possui características bastante complexas. A qualidade do enlace de comunicação, perda de rota (ou canal) de propagação, interferências, custo de energia e mudanças dinâmicas de topologia são fatores bastante relevantes ao tratar-se da comunicação. Novamente tomando como exemplo a utilização militar das MANETs, a preservação da segurança, latência, confiabilidade, rápida recuperação em caso de falhas, entre outros fatores são considerações significativas. Isso porque redes militares são desenvolvidas com o objetivo de manter uma baixa probabilidade de interceptação e/ou detecção.

Hoje é muito comum a utilização de simulações para avaliar o desempenho e o comportamento de uma tecnologia ou estrutura em MANETs. Isso devido às, já apresentadas, complexidades desses ambientes. As simulações possuem o objetivo de auxiliar na análise de uma tecnologia ou estrutura e levantar resultados que validem ou não sua aplicação em um ambiente real. No capítulo seguinte são apresentados a metodologia na realização de simulações sobre dois atuais protocolos de roteamento em MANETs. Através dessas simulações foram formulados resultados significativos sobre os protocolos avaliados com relação a sua utilização em cenários de operações militares.

4 SIMULAÇÕES

Simulações, não somente de redes de computadores, têm o objetivo de avaliar determinada estrutura ou tecnologia. As informações conseguidas através dessas simulações devem ser confiáveis ao ponto de interferirem no processo de decisão da aplicação da estrutura ou tecnologia avaliada em ambiente real. Mais especificamente, simulações de redes móveis *ad hoc* têm o objetivo de simular ambientes geralmente impraticáveis por questões físicas ou por custos de implementação. MANETs ainda são estruturas complexas e difíceis de implementar. Portanto, simulações são importantes à medida que possam fornecer informações confiáveis sobre a estrutura de comunicação e auxiliar em tomadas de decisão durante o desenvolvimento de uma determinada tecnologia ou implantação da mesma.

Em um cenário militar a rede de comunicação é de fundamental importância uma vez que irá garantir a comunicação necessária durante uma determinada operação. A escolha pela simulação de um cenário militar deu-se devido a esse indispensável cuidado com a rede de comunicação que irá proporcionar a conectividade em um ambiente hostil e imprevisível. A metodologia utilizada nas simulações e o cenário simulado estão descritos a seguir.

4.1 Metodologia

A escolha da correta metodologia para a realização de simulações em MANETs é muito importante pois a validade e confiabilidade dos resultados dependem diretamente da mesma. Para a realização das simulações em um cenário militar foi proposta uma estrutura de simulação com 4 ferramentas principais, sendo:

- ScenGen (*Scenario Generator*): utilizado para a geração de *scripts* de movimentação dos nodos integrantes da rede de comunicação;

- Cbrgen.tcl: utilizado para a geração de *scripts* com todas as conexões para a transmissão de pacotes de dados entre os nodos integrantes da rede;
- NS-2 (*Network Simulator 2*): simulador de redes que reúne as informações dos *scripts* gerados pelo ScenGen e pelo Cbrgen.tcl com outras especificações da rede de comunicação, realiza a simulação e gera os arquivos resultantes com todas as informações significativas da rede durante o tempo simulado;
- Awk: linguagem de programação que possibilita a formulação de *scripts* para a extração de informações de arquivos com estrutura definida (informações em colunas). A utilização do *awk* deveu-se ao fato de que os arquivos resultantes das simulações no NS-2 são muito extensos, possuindo milhares de linhas de informações. Essas linhas seguem uma padronização na apresentação do conteúdo desses arquivos. Os *scripts* desenvolvidos em *awk* tiveram o objetivo de extrair informações significativas desses arquivos de resultado.

Através da Figura 3 podem ser visualizados todos os *scripts* necessários e a sequência da utilização de cada uma das ferramentas citadas acima.

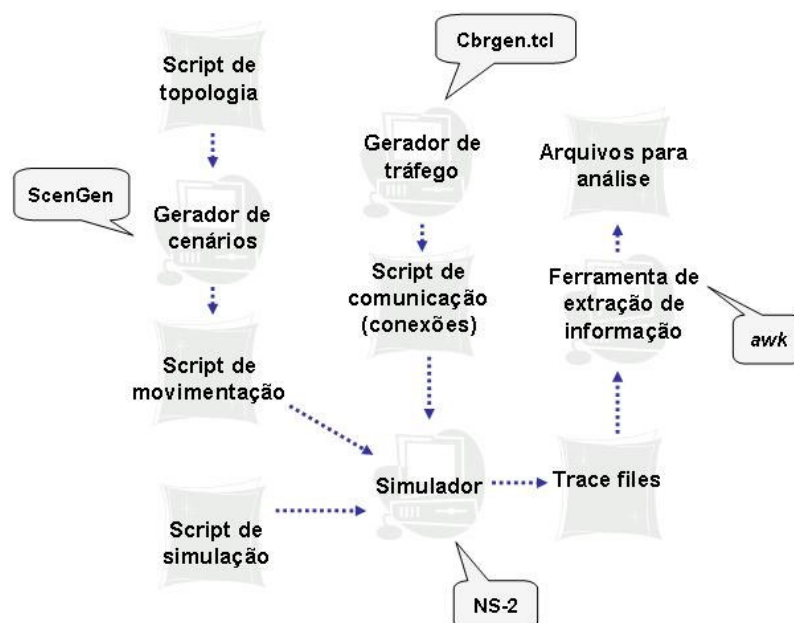


Figura 3: Estrutura de simulação.

4.2 Cenário proposto

O cenário proposto para a realização das simulações consiste na operação militar de assalto e tomada de posição inimiga. Nessa situação, um ou mais grupos de soldados buscam alcançar e tomar uma posição até o momento sob posse do inimigo. Nesse tipo de operação não é esperada uma forte reação por parte do inimigo devido ao elemento surpresa do ataque. O cenário simulado faz parte do trabalho realizado em [5].

Como é apresentado mais adiante, na Figura 4, o cenário simulado é constituído por 35 unidades. Todas as unidades possuem um comunicador capaz de atuar em uma rede *ad hoc*. Essas unidades partem de um ponto inicial no cenário de simulação e buscam alcançar um ponto em comum que é a posição inimiga, ou seja, o que deve ser a posição final das unidades ao término da simulação. As 35 unidades estão divididas e organizadas no cenário de simulação da seguinte forma: 1 central de

comando; 2 observadores avançados; e 8 grupos de 4 integrantes cada. A área total da simulação é de 1000m X 2000m.

Ainda é importante saber que no cenário simulado foi estabelecido que a central de comando (carro de combate) é o ponto de referência para todos os outros integrantes da rede. Isso porque a mesma dita a movimentação do grupo através de informações pré-estabelecidas e das obtidas durante a execução da operação. Sendo assim, as conexões simuladas representam a comunicação dos grupos e observadores com a central de comando. Para essas comunicações foi estabelecido, de forma aleatória, um nodo responsável por cada grupo. Isso totalizou 10 conexões chegando a central de comando (uma por cada um dos grupos e uma por cada observador) e 10 conexões saindo da central de comando como resposta. A comunicação entre os próprios integrantes dos grupos não foi considerada para a análise da rede, pois devido à proximidade entre os nodos dos grupos, todos estavam dentro da área possível de comunicação de seus companheiros. Isso proporciona atingir facilmente os 100% de comunicação efetiva, ou seja, toda a comunicação necessária é conseguida.

4.2.1 Modelo de mobilidade proposto

Como mencionado no item 4.1, foi utilizada a ferramenta ScenGen para auxiliar na geração da movimentação dos nodos móveis da rede simulada. Para isso há a necessidade de um modelo de mobilidade responsável por ditar as regras que essa movimentação deve obedecer. No caso do cenário de operação militar proposto, os nodos móveis devem seguir uma linha de movimentação de forma a atuarem em conjunto e alcançarem o ponto final em comum.

Para modelar a movimentação de todos os nodos integrantes da rede de comunicação foi utilizado o modelo de mobilidade *Mixed Waypoint*, desenvolvido por [5]. Esse modelo de mobilidade é uma mescla dos modelos *Random Waypoint* e RPGM. O modelo *Mixed Waypoint* é escrito em C++ e foi integrado à ferramenta ScenGen para que pudesse ser utilizado de forma a tornar a movimentação das unidades mais próxima de um ambiente real.

A movimentação dos nodos consistiu em três movimentações principais para cada grupo integrante da operação. Ou seja, partindo do ponto inicial, os grupos de nodos (considerando a central de comando como um grupo e os dois observadores também como um grupo) se movimentavam até uma segunda área. Após um tempo de pausa, os grupos se movimentavam novamente em direção ao ponto final até um terceiro ponto. E novamente após um tempo de pausa, os grupos se movimentavam até o ponto final em comum a todos. Essa movimentação, bem como a estrutura completa do cenário simulado, pode ser observada na Figura 4.

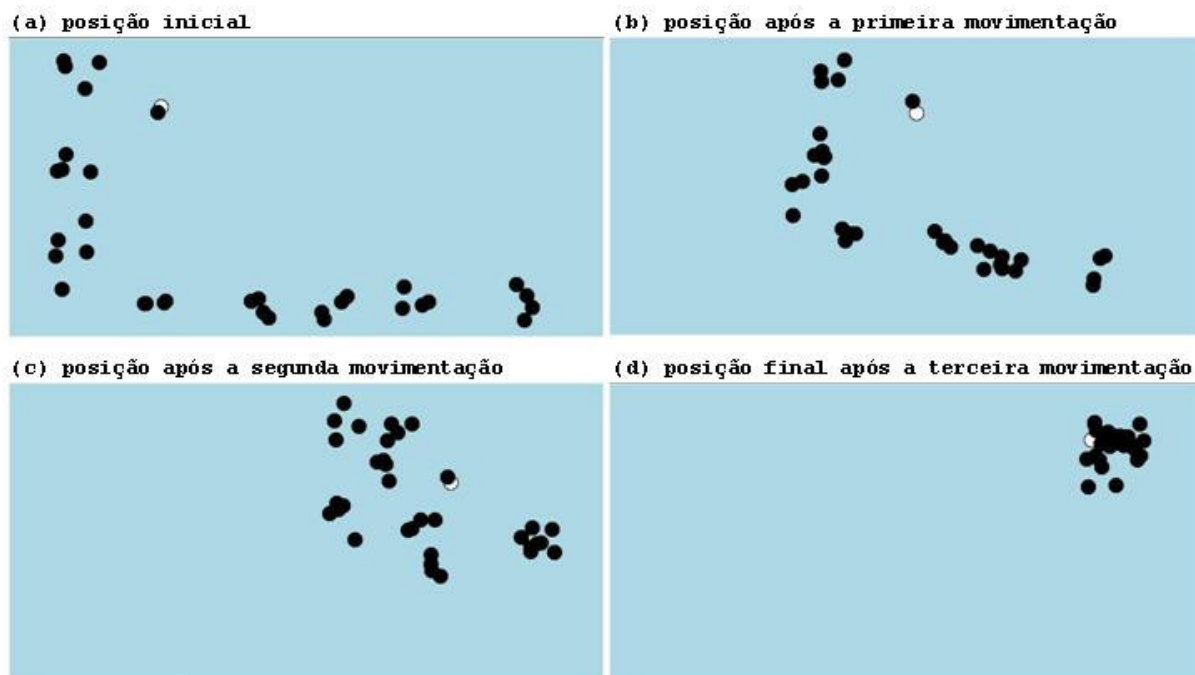


Figura 4: Movimentação no cenário simulado gerada através do ScenGen e visualizada através do Ad-hockey.

5. RESULTADOS E CONCLUSÕES

As simulações realizadas tiveram o objetivo de analisar o desempenho dos protocolos OLSR² (pró-ativo) e DYMO³ (reativo) no cenário descrito no item 4. Foram selecionados tais protocolos devido ao fato de serem protocolos novos e ainda estarem em desenvolvimento.

Ao total foram realizadas 30 rodadas de simulação, sendo 15 para cada protocolo. Através da realização de mais de uma rodada de simulação, buscou-se uma maior proximidade a um cenário real. As movimentações principais dos grupos e as comunicações existentes entre os nodos são as mesmas em todas as rodadas de simulação. Porém, a movimentação individual de cada nodo dentro de seu respectivo grupo é alterada. Essa alteração pode acarretar mudanças na forma de comunicação entre uma simulação e outra. Uma conexão existente entre dois nodos em determinada rodada de simulação, por exemplo, pode não ser possível em outra rodada devido à diferente direção tomada por um dos nodos, ou ambos, dentro de seu grupo. Sendo assim, para a formulação dos resultados finais fez-se a média dos resultados parciais individuais de cada rodada de simulação.

As métricas utilizadas para comparar o desempenho dos protocolos nas simulações realizadas são as seguintes:

- Taxa de entrega de pacotes: razão entre o número de pacotes de dados entregues no destino final e o número de pacotes de dados gerados pela aplicação na fonte;
- Atraso médio fim a fim dos pacotes de dados (*delay end-to-end*): inclui todos os possíveis atrasos causados por latência da descoberta de rotas, propagação, retransmissões da camada MAC e tempos de transferência;

² Código-fonte UM-OLSR. Desenvolvido por Francisco J. Ros. Masimum – Universidade de Murcia, Espanha.

³ Código-fonte DYMOUM. Desenvolvido por Francisco J. Ros. Masimum – Universidade de Murcia, Espanha.

- Número de pacotes e bytes de roteamento: a quantidade total de pacotes e bytes de roteamento gerados por cada um dos protocolos. Essa métrica compreende a descoberta de rotas roteamento e a manutenção das mesmas;
- Sobrecarga de roteamento normalizada pelo número de pacotes e bytes de dados: razão entre o número de pacotes e bytes de roteamento transmitidos na rede e, respectivamente, a quantidade de pacotes e bytes de dados entregues aos seus respectivos destinos.

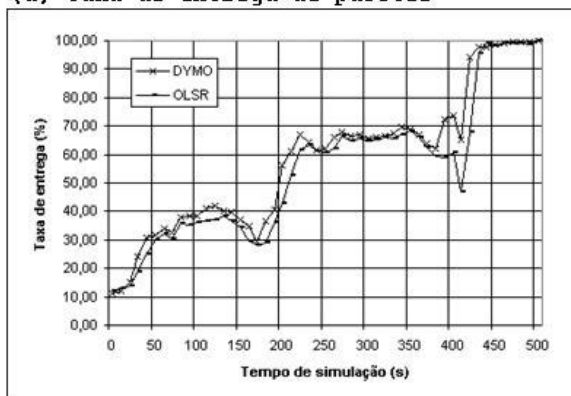
A Tabela 1 apresenta o resumo das principais características da simulação realizada.

Tabela 1: Resumo dos parâmetros da simulação.

Parâmetro	Valor
Largura de banda	2Mbps
Alcance de transmissão	250m
Tempo total de simulação	500s
Tempo de pausa (máx.)	5s
Número total de nodos	35
Área de simulação	2000m x 1000m
Tamanho dos pacotes de dados	512 bytes
Tipo de tráfego	CBR (<i>Constant Bit Rate</i>) – UPD
Número de conexões	20

Com relação aos gráficos apresentados na Figura 5, é importante saber que os momentos de crise na estrutura de comunicação acontecem no intervalo entre 150 e 200 segundos e no intervalo entre 400 e 450 segundos de simulação. Isso ocorre devido a segunda e a terceira movimentação em conjunto de todos os grupos da rede, como pode ser visto na Figura 4(c) e na Figura 4(d). As movimentações dos grupos acarretam uma grande perda nas informações relativas às rotas de roteamento que estavam sendo utilizadas até o momento. Também se pode observar que as linhas do gráfico tendem ao melhor valor da métrica com o passar do tempo de simulação. Isso ocorre devido à proximidade entre os nodos após as movimentações, pois os mesmos estão caminhando para um objetivo em comum. Dessa forma, no intervalo entre 450 e 500 segundos as linhas alcançam valores melhores nas métricas, pois os nodos estão muito próximos uns dos outros e toda a comunicação necessária é conseguida.

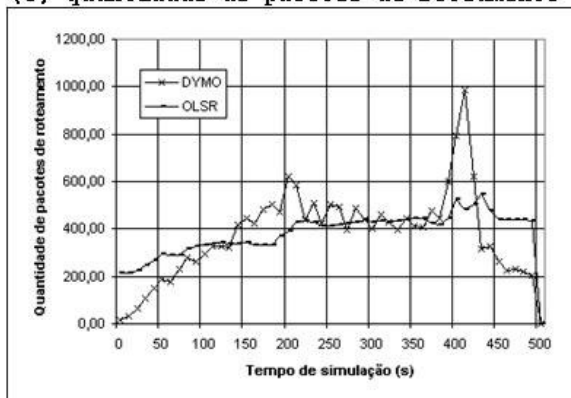
(a) taxa de entrega de pacotes



(b) atraso médio fim a fim dos pacotes



(c) quantidade de pacotes de roteamento



(d) quantidade de bytes de roteamento



Figura 5: Gráficos com os resultados da simulação.

Nas simulações realizadas, o protocolo DYMO apresentou-se mais eficiente que o protocolo OLSR principalmente no que diz respeito à taxa de entrega dos pacotes de dados. Como pode ser observado no gráfico “a” da Figura 5, o protocolo DYMO consegue atingir melhores níveis na entrega dos pacotes de dados mais rápido que o protocolo OLSR. O DYMO também, em alguns momentos da simulação consegue atingir picos na entrega dos pacotes de dados que o protocolo OLSR não consegue como, por exemplo, no intervalo entre 200 e 250 segundos de simulação. É importante ressaltar também que o protocolo DYMO, trabalhando de forma reativa, nos momentos de crise da estrutura de comunicação, apresentou uma melhor recuperação na reconstituição da comunicação. O protocolo OLSR demorou mais tempo para conseguir restabelecer as conexões perdidas durante a movimentação dos grupos.

O gráfico “b” da Figura 5 pode apresentar uma idéia contrária com relação ao desempenho dos protocolos. Isso porque a linha que representa o atraso fim a fim dos pacotes de dados para o protocolo OLSR é muito mais constante que a do protocolo DYMO. Isso se deve a forma de atuação sob demanda (reativa) do protocolo DYMO. Como também é somada ao tempo de atraso a latência ocasionada pelos trabalhos necessários de roteamento (descoberta e manutenção de rotas), o trabalho reativo do protocolo DYMO provoca picos muito mais elevados em tempo de atraso que o protocolo OLSR que possui uma linha muito mais constante devido ao trabalho de roteamento pró-ativo. Pode-se observar ainda no gráfico “b”, que nos momentos de crise na rede ambos os protocolos se comportaram de maneira semelhante. Pois a perda das rotas de comunicação ocasionou um maior atraso na entrega dos pacotes que foram gerados e enviados nos momentos de crise.

O gráfico “c” da Figura 5 comprova o comportamento mais equilibrado por parte do protocolo OLSR. O protocolo OLSR gerou pacotes de roteamento à medida que necessitava preencher ou

atualizar sua tabela de roteamento. A atualização das tabelas de roteamento era realizada a cada 2 segundos de simulação. Já o protocolo DYMO apresenta uma linha crescente nos primeiros segundos de simulação devido ao trabalho reativo. Ou seja, à medida que pacotes de dados eram gerados, o protocolo DYMO iniciava a busca por rotas, caso a mesma ainda não tivesse sido descoberta, para realizar a entrega desses pacotes. Nos momentos de crise na rede de comunicação, o protocolo DYMO gerou um número maior de pacotes de roteamento que o protocolo OLSR. Sendo assim o protocolo DYMO conseguiu restabelecer mais rapidamente as rotas necessárias para continuar o envio dos pacotes de dados. Isso explica a melhor recuperação na taxa de entrega dos pacotes de dados pelo protocolo DYMO, apresentada no gráfico “a” da Figura 5.

No gráfico “d” da Figura 5, se pode observar que a quantidade de bytes de roteamento enviada pelos protocolos durante a simulação foi bastante equilibrada. Sendo que em alguns momentos o protocolo OLSR enviou mais bytes que o protocolo DYMO e em outros momentos aconteceu o inverso. Nos momentos de crise na rede de comunicação, o protocolo OLSR gerou uma carga maior de bytes de roteamento. Mas isso não refletiu em um melhor desempenho com relação à taxa de entrega dos pacotes de dados. Ou seja, nos momentos de crise na comunicação, apesar da maior quantidade de pacotes de roteamento gerados, o protocolo DYMO conseguiu melhorar ou manter a taxa de entrega dos pacotes de dados gerando uma carga menor de bytes de roteamento. É importante salientar que a quantidade de pacotes de roteamento não interfere de forma direta no resultado relativo à quantidade de bytes de roteamento. Isso porque os pacotes de roteamento dos protocolos avaliados são diferentes, pois um trabalha de forma pró-ativa e outro de forma reativa. Sendo assim, os pacotes de roteamento dos dois protocolos levam dados diferentes em seu conteúdo interferindo diretamente no seu tamanho. O protocolo OLSR, durante todo o tempo de simulação, gerou uma carga de aproximadamente 61MB em tarefas de roteamento, cerca de 13% a mais que o protocolo DYMO que, sob as mesmas condições, gerou uma carga de aproximadamente 53MB em roteamento.

Apesar de demonstrar um trabalho de roteamento constante, por atuar de forma pró-ativa, o protocolo OLSR, no cenário avaliado, necessitou uma média de 3,89 pacotes de roteamento para que um pacote de dados conseguisse alcançar seu destino final. O protocolo DYMO para o mesmo trabalho necessitou uma média de 3,6 pacotes de roteamento. A diferença média de 0,29 pacotes de roteamento parece ser insignificante. Porém, deve-se considerar que em 500 segundos de simulação milhares de pacotes de dados são gerados e enviados, o que torna essa diferença um valor bastante expressivo. Da mesma forma que na quantidade de pacotes de roteamento, o protocolo OLSR necessitou uma maior quantidade de bytes de roteamento para a entrega dos pacotes de dados. O protocolo OLSR gerou em média 1,54 bytes de roteamento para cada byte de dados entregue ao seu destino final. O protocolo DYMO necessitou que em média 1,26 bytes de roteamento fossem gerados para que cada byte de dados chegasse ao seu destino. Nessa métrica vale a mesma conclusão com relação à carga de roteamento calculada pela quantidade de pacotes. Isso porque a diferença parece ser pequena ao se tratar de um byte de dados. Porém, ao longo de 500 segundos de simulação, milhares de pacotes de dados, com tamanho de 512 bytes, foram gerados. Isso faz com que essa pequena diferença se torne significativa ao término do tempo total de simulação.

Após a realização das 15 rodadas de simulação para cada um dos protocolos avaliados e a análise dos resultados, chegou-se a conclusão de que ambos os protocolos conseguiram realizar as tarefas de roteamento de forma a possibilitar a comunicação entre os integrantes do cenário. Porém, o protocolo DYMO apresentou um melhor desempenho sob as condições simuladas. Essa conclusão é devido ao fato de que o protocolo conseguiu estabelecer melhores taxas de entrega e de recuperação em momentos de crise na comunicação, atuando de forma reativa. Ainda é válido colocar que essas melhores taxas foram conseguidas com uma menor carga de roteamento durante todo o tempo de simulação. O protocolo OLSR apresentou um melhor equilíbrio com relação ao atraso na entrega dos pacotes de dados. Porém isso não foi suficiente para que uma melhor taxa de entrega fosse

atingida e, num cenário de operação militar com uma central de comando que dita as direções do grupo, essa métrica é de grande importância. Da mesma forma, é de grande importância a menor carga de roteamento, pois isso significa uma menor quantidade de informações trafegando na rede de comunicação. Isso acarreta uma maior discrição da rede de comunicação no campo de batalha. Ou seja, quanto menor a quantidade de dados transmitidos, menor as chances da rede de comunicação ser detectada pelo inimigo.

Com a realização desse trabalho chegou-se a conclusão de que o protocolo DYMO atende melhor as exigências de uma rede de comunicação em um cenário de operação militar com as características apresentadas no item 4. Porém, muitas outras qualidades de um protocolo ainda devem ser avaliadas para que o mesmo possa ser escolhido como tecnologia a ser utilizada em um ambiente real. Outros fatores ainda não avaliados no trabalho realizado, como a segurança de dados, também são determinantes para o correto funcionamento da rede de comunicação e, consecutivamente, o sucesso ou fracasso da missão. Portanto esse trabalho veio contribuir à medida que foi possível avaliar o desempenho dos protocolos OLSR e DYMO de forma mais abrangente e não específica sobre uma única característica. Mas com esse trabalho já é possível alegar a superioridade do protocolo DYMO no cenário avaliado.

REFERÊNCIAS

- [1] Corrêa, U. et al. Redes Locais Sem Fio: Conceitos e Aplicações. *In: IV Escola Regional de Redes de Computadores*. Passo Fundo, Brazil. 2006.
- [2] Corson, S. and Macker, J. Mobile Ad hoc Networking (MANET): Routing Protocol Performance Issues and Evaluation Considerations. 1999.
- [3] Johnson, D. Routing in Ad hoc Networks of Mobile Hosts. *In: IEEE Workshop on Mobile Computing Systems and Applications*. 1994.
- [4] Lundberg, D. Ad hoc Protocol Evaluation and Experiences of Real World Ad hoc Networking. Department of Technology, Uppsala University. Uppsala, Sweden. 2002.
- [5] Pereira, I.C.M. Análise do Roteamento em Redes Móveis Ad hoc em Cenários de Operações Militares. Universidade Federal do Rio de Janeiro. Rio de Janeiro, Brazil. 2004.
- [6] Tanenbaum, A.S. Redes de Computadores. Editora Campus. Rio de Janeiro, Brazil. 1997.
- [7] Weiser, M. Ubiquitous Computing. <http://sandbox.xerox.com/unicomp/>. 1996.